



## “ANOTACIONES SOBRE EL RIESGO SISMICO EN MANIZALES”



Gonzalo Duque-Escobar \*  
Universidad Nacional de Colombia  
Manizales, 27/02/1012

# Introducción

Este es un material preparado desde la UN para trabajo en prevención de desastres de origen sísmico en Manizales.

Fundada en 1849, Manizales es una ciudad de 400 mil habitantes ubicada en el centro occidente de Colombia, sobre la Cordillera Central de los Andes y cerca del Volcán Nevado del Ruiz.

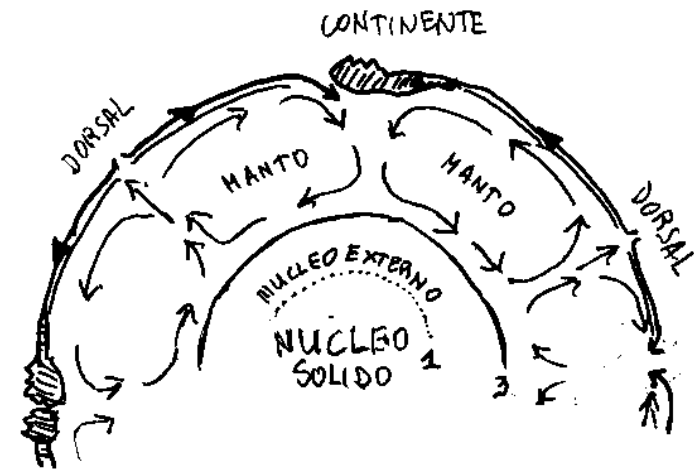
Consiente de la amenaza sísmica, la fragilidad de los suelos y los eventos hidrometeorológicos propios del clima tropical andino, la UN por intermedio del IDEA ha mantenido un programa para facilitar la gestión del riesgo, que requiere ser apropiado por la sociedad civil.

Manizales está ubicada en una zona donde los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995, ponen en evidencia una fuente sísmica con eventos cada 15 o 20 años, cuyos sismos de magnitud cercana a 7 grados provienen de la zona de subducción.

Pero las fallas del sistema Cauca-Romeral son otra fuente sísmica que merece mayor consideración, dadas las devastadoras consecuencias de los terremotos de Popayán 1983 y Quindío 1999, capaz de producir eventos superficiales de magnitud 6, pero que por resultar de mayor intensidad obligan a elevar el nivel de preparación existente, a pesar de las acciones ya implementadas por las autoridades municipales.

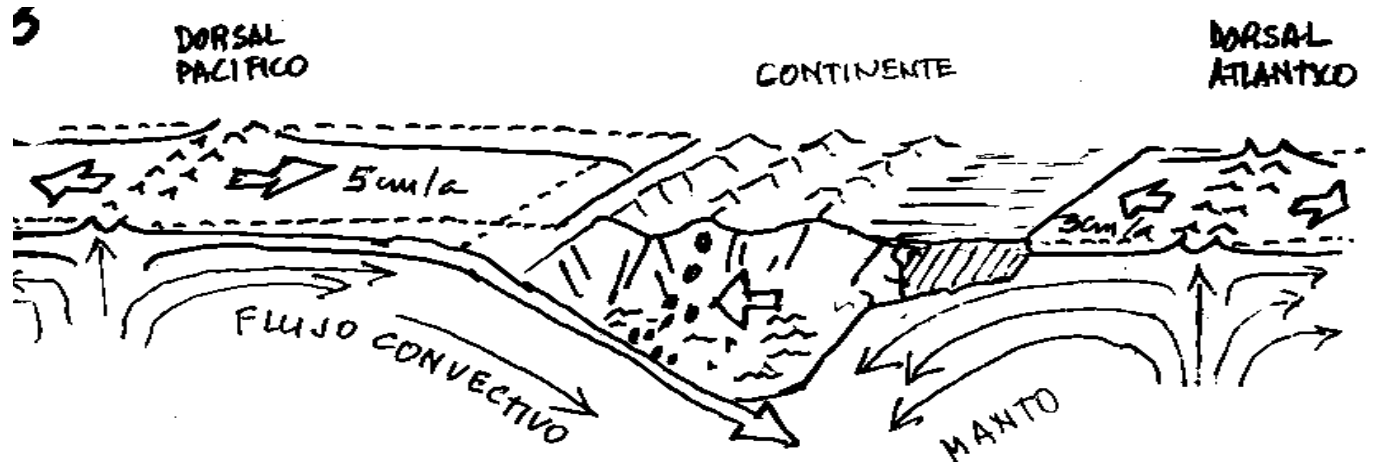
# El planeta tierra

- La Tierra posee un núcleo casi tan caliente como la superficie del Sol, sólido en el centro y fluido en su periferia.
- Por lo anterior, el manto que envuelve el núcleo terrestre está en un movimiento plástico de corrientes de convección.
- La corteza externa, fría y delgada, es la piel de la tierra que conforma placas tectónicas que mutan y contienen los continentes que se exponen a la atmósfera y erosionan.
- En la corteza terrestre se diferencian los fondos oceánicos con sus dorsales, y los continentes emergidos con sus cordilleras.



# La danza de los continentes

- La corteza de la Tierra, se regenera y destruye conforme se mueve a modo de banda transportadora, impulsada por las corrientes de convección del manto plástico.
- Las placas tectónicas surgen en las dorsales y se destruyen en las zonas de subducción, donde regresan al manto para fundirse de nuevo.
- En su deriva la corteza arrastra los continentes, forma montañas y volcanes, e igualmente se deforma y rompe causando los terremotos, ya en la zona de subducción donde colisionan, ya en las fallas de sus pliegues interiores.

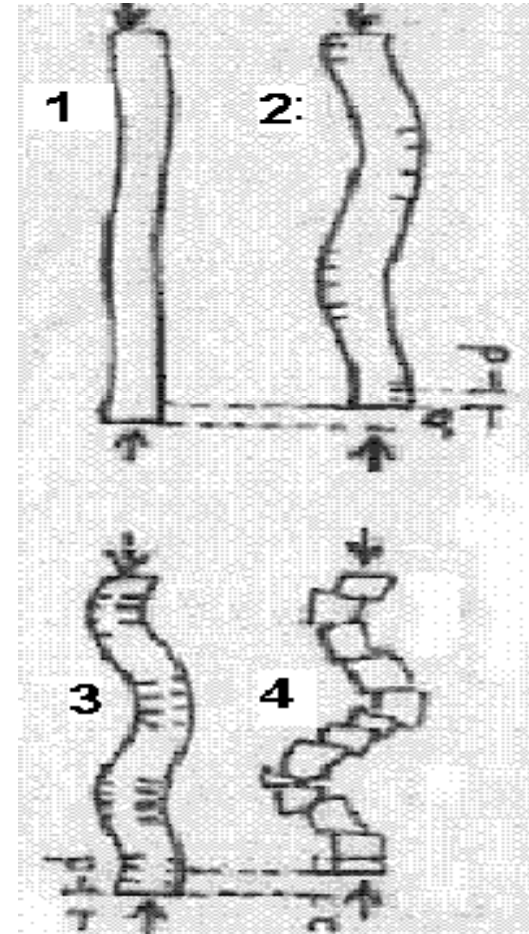


# Teoría del rebote elástico

Un sismo es la manifestación de la energía ondulatoria liberada por una ruptura o falla geológica, cuando los bloques de la placa tectónica han acumulado energía de deformación, o por un colapso o una colisión de un asteroide ocurridos en las estructuras geológicas de la corteza de la Tierra.

Figura :

- 1. deformación elástica.
- 2. fisuras de tensión.
- 3. fisuras de tensión y compresión,
- 4. fallamiento y liberación de la energía de deformación por ruptura.



# La falla de San Andrés en California

- Se localiza en la costa oeste de USA; allí, las rocas del océano se desplazan hacia el norte y el continente hacia el sur.
- Por ese desplazamiento horizontal, se acumulan en la corteza esfuerzos de deformación que han de liberarse, en la falla de San Andrés.
- La falla comprende cinco trazos principales: tres de ellos que liberan energía de manera casi continua, mientras dos la acumulan para ser liberada violentamente, cada veinte o treinta años en forma de terremotos.
- Pueden producirse en el futuro nuevos terremotos en San Francisco, tan violentos como el del año de 1906.



San Andreas Fault: imágenes en [earthquake-facts.com](http://earthquake-facts.com) y Wikipedia



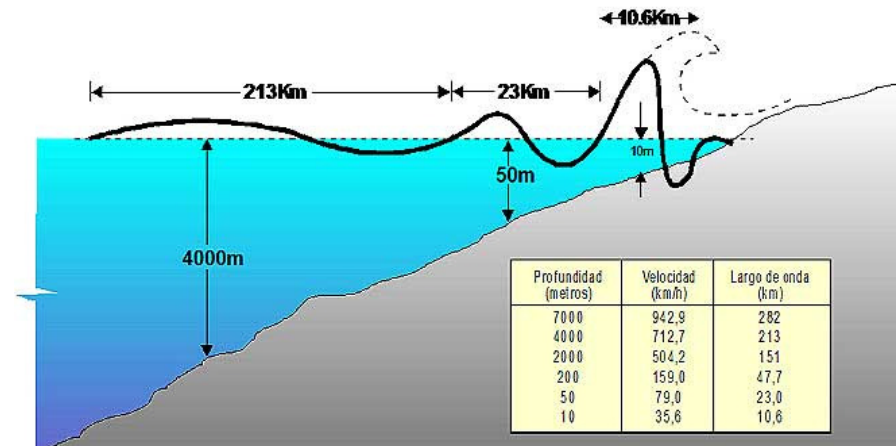
# Sistema de fallas Arima-Takatsuki



- De otro lado en KOBE Japón, el epicentro del terremoto de 1995 fue localizado en el centro de un sistema de fallas.
- Este terremoto fue causado por una ruptura de 40 Km en el sistema de fallas de la microplaca Osaka.
- Aunque históricamente han ocurrido sismos destructivos en esta región como el de 1596 con magnitud 7,5, la poca actividad sísmica reciente hacía que la población la considerara segura.
- Solo que después de 400 años ocurrió el terremoto destructivo que se creía podría llegar en unos mil años, causando estragos que superaron las previsiones establecidas, tal cual se advierte en las imágenes adjuntas.

# El maremoto o tsunami

- Los sismos que se producen en el fondo oceánico, pueden causar “maremotos” cuando los bloques rocosos se desplazan verticalmente, en el entorno de una falla geológica.
- En mar abierto la perturbación transmitida al agua es rápida de onda larga y de poca altura, pero en aguas poco profundas la ola gana amplitud o altura, y pierde longitud de onda y velocidad de desplazamiento.

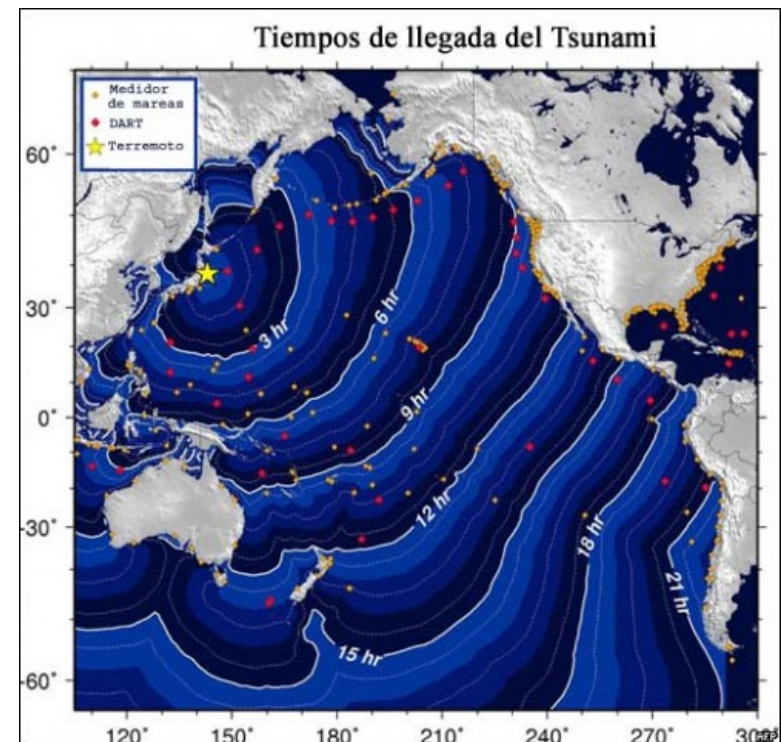


Imágenes:

Derecha, albertovilches.com;

Izq-Superior, andanzasporvalparaiso.blogspot.com ;

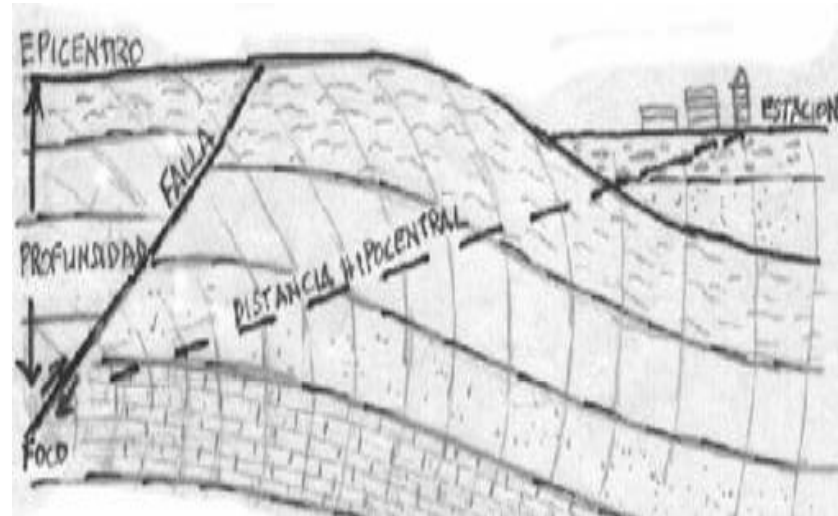
Izq-Inferior, noticias.lainformacion.com





# Parametros De Un Sismo

**1 Estáticos.** La profundidad del sismo, el hipocentro o foco del evento, el epicentro que es el lugar de la superficie localizado sobre el foco, la distancia focal y la epicentral, que son las distancias del hipocentro y epicentro a la estación de registro.



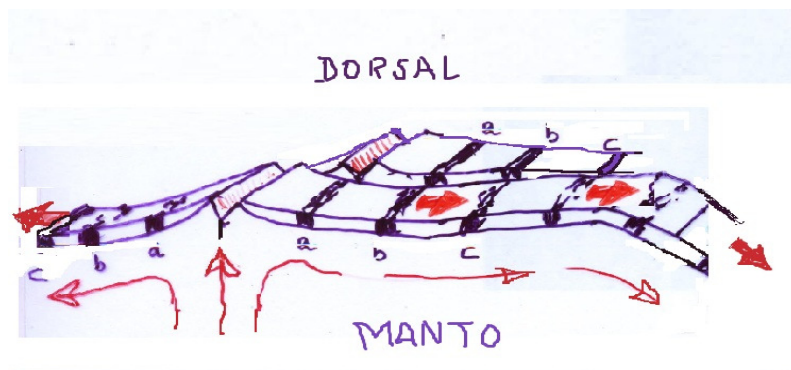
**2 Dinámicos.** La fecha y hora del evento, la duración y amplitud del movimiento, la intensidad que alude a los daños ocasionados, y la magnitud que alude a la energía liberada en el foco.

Cada ciudad debe conocer sus fuentes sísmicas, lo que supone saber su localización y sismos característicos con sus períodos de retorno y magnitudes probables, asunto importante para la gestión del riesgo, y tarea para la cual conocer la respuesta de los suelos resulta definitivo para definir la tipología adecuada de las construcciones.

# Sismos de la zona de subducción de Nazca

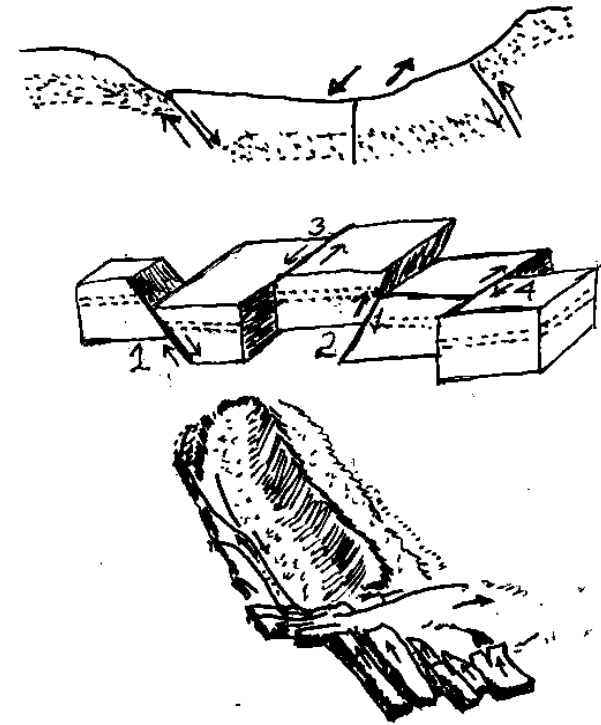
En el occidente del país son los sismos **Interplaca**, típicos de la base de la Cordillera Occidental de Colombia, con profundidad entre 70 y 100 km; tienen la mayor energía aunque el efecto en superficie es tenue pero extenso, pues se sienten en toda Colombia.

Se relacionan con la fricción en el Plano de Benioff en el contacto de la Placa Tectónica de Nazca con la Placa de Sudamérica, cuando la primera regresa para fundirse en el manto de la Tierra, o por tensiones acumuladas del empuje del continente hacia el Pacífico.



# Sismos del Sistema Cauca – *Romeral*

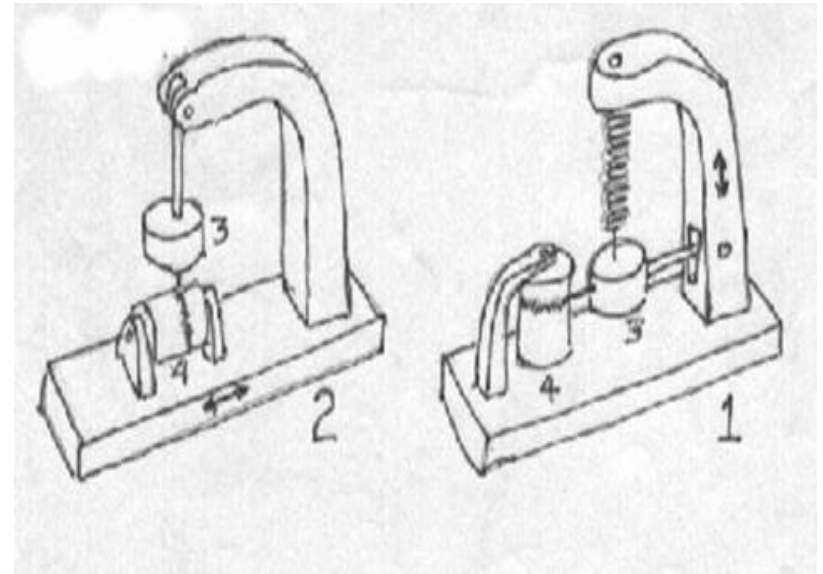
- Para el occidente colombiano, son los sismos **Intraplaca** o de fallas geológicas que se dan en el interior de la placa continental, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles como las fallas del plegamiento cordillerano.
- Por ser sismos superficiales, son los más destructivos, ya que se dan a menos de 70 km de profundidad.
- Ejemplo Popayán 1983 y Quindío 1999, dos eventos asociados al Sistema de Fallas Romeral, el mega-trazo que va desde Nariño a Montería.
- En la provincia sismo-tectónica que va del Nudo de los Pastos hasta el sur de Antioquia: la falla Romeral, después de Popayán y Armenia podría liberar su energía en sectores vecinos a Cali o a Manizales, solo que no conocemos lo ocurrido en los inicios del siglo XIX.



En la imagen media se pueden diferenciar cinco bloques sometidos a compresión (2), a cortante (3 y 4) y a tensión (1).

# INSTRUMENTOS DE REGISTRO

- **El Sismógrafo.** Consiste en un péndulo equipado con un freno neumático o magnético, para que al ocurrir una sola sacudida no trace varios movimientos en un sismograma. La amplitud y también la duración del sismo registrado, permiten calcular la magnitud del evento.
- **El Acelerógrafo:** a diferencia del sismógrafo, el péndulo se suspende de un resorte, para que se registre la aceleración del suelo.



Esquema de un sismógrafo:

1. sismógrafo para componente vertical,
2. sismógrafo para componente horizontal,
3. Péndulo el sismógrafo,
4. tambor de registro.

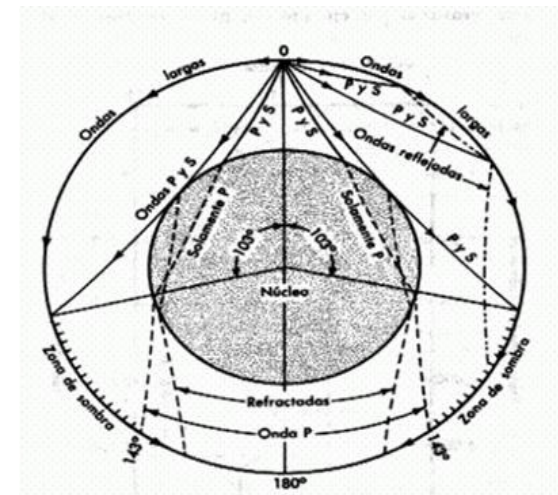
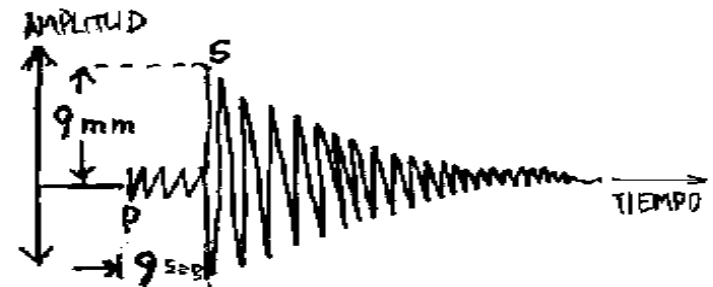


# Ondas Sísmicas I

Pueden ser **ondas de cuerpo** o interiores como las P y las S, y **ondas superficiales** como las ondas R y L. Los efectos desastrosos que se producen se llaman sacudidas y cualquiera que sea su intensidad, pueden ser bruscas u ondulatorias.

*Veamos las ondas de cuerpo.*

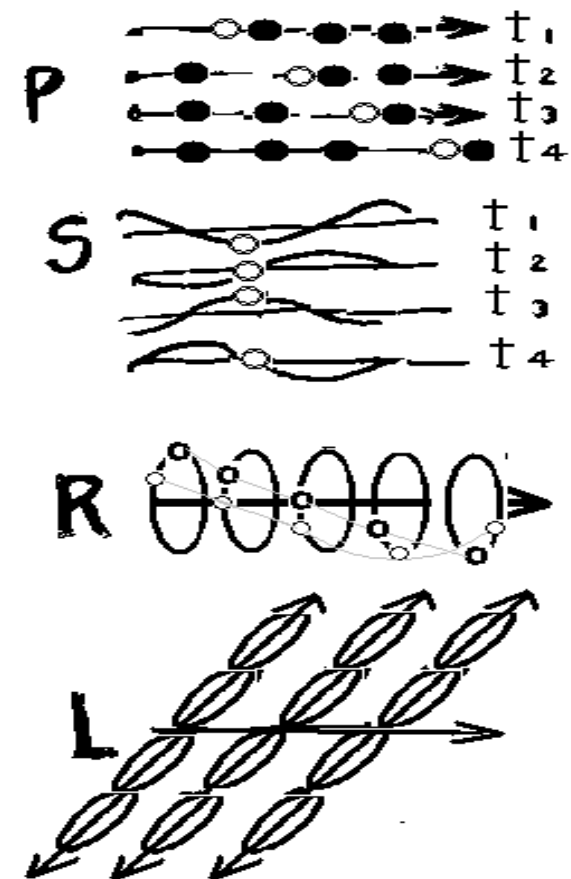
- Las **ondas P** son de compresión y en ellas las partículas se desplazan en la dirección del movimiento; son las ondas más rápidas.
- Las **ondas S** o de corte, llegan de segundas, y en ellas las partículas se mueven en dirección transversal al movimiento; estas hacen más daños por su mayor amplitud y no se propagan en el agua.



# Ondas Sísmicas II

*Ahora, veamos las ondas R y L que se generan en superficie.*

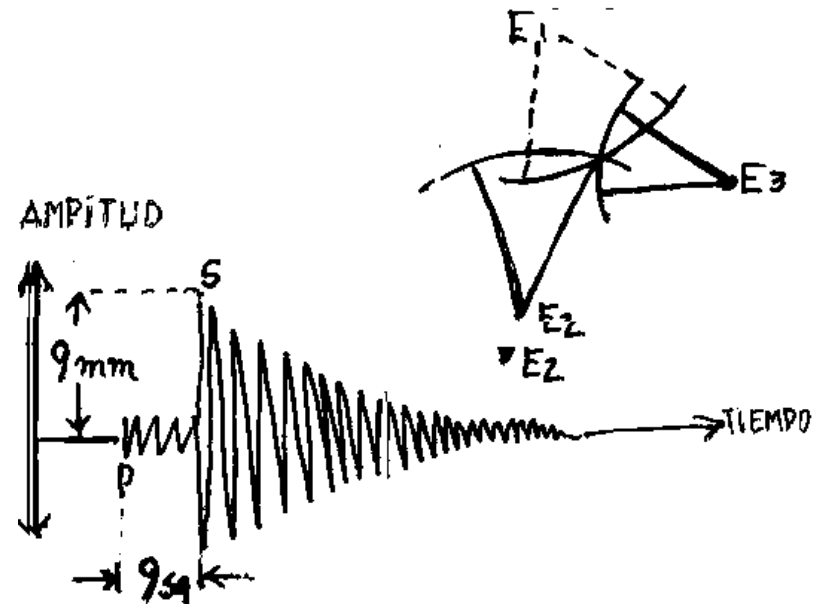
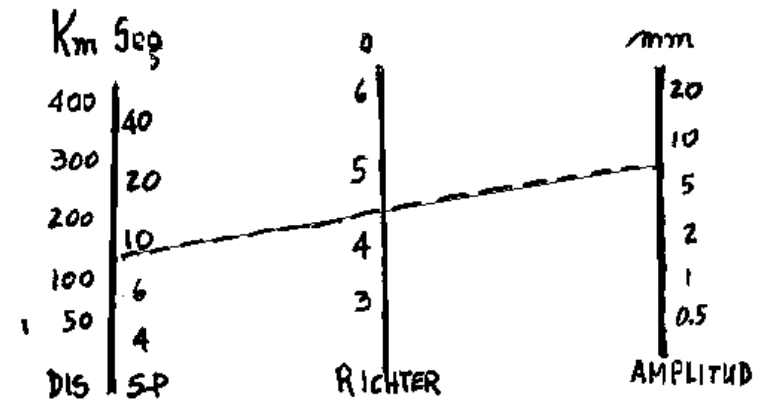
- **Ondas superficiales:** después de las ondas anteriores llegan las ondas Rayleigh (R) y las Love (L), generadas únicamente sobre la superficie del suelo o del agua.
- En las **ondas R** las partículas se mueven describiendo elipses verticales orientadas en la dirección del movimiento; en estas ondas, si el medio es sólido la partícula retrógrada arriba y avanza abajo; en líquidos lo contrario.
- En las **ondas L** las elipses están en un plano horizontal y avanzan por la superficie del suelo, transversalmente a la dirección del movimiento.
- Los diagramas muestran el comportamiento de una partícula de suelo con las ondas de cuerpo y superficiales, en 4 tiempos.



# Ondas Sísmicas III

El cálculo del **epicentro** se hace triangulando las tres distancias que se obtienen a partir de la diferencia de tiempos en el registro de las ondas S y P, medidas en tres sismógrafos ubicados en tres ciudades distantes, E1, E2 y E3. Aquí la profundidad del **foco** tiene que ser despreciable.

Obsérvense en el sismograma la diferencia de **amplitud** (9 mm) y de **tiempo de arribo**, entre P y S (9 seg). Ambas variables resultan de importancia para estimar **la magnitud** del sismo en la escala Richter, como se muestra en la figura superior.



# La Intensidad Mercalli modificada

- Alude a **los daños** y depende de la calidad de construcción y tipo de suelo, además de la distancia al foco y magnitud del sismo, por lo que un mismo sismo puede mostrar **diferentes intensidades, incluso en una misma ciudad.**
- La **Escala de Intensidades** tiene 12 grados:
  - I. Si sólo lo registran los instrumentos y algunos animales.
  - III. Si sólo se siente en edificios; las lámparas se balancean.
  - VI. Sentido por toda la gente. Caen objetos de la estantería.
  - IX. Si produce pánico y daños. Cae mampostería, revienta tuberías, etc..
  - XII. Destrucción total. Es el límite superior de la escala Mercalli.



Terremoto del Quindío de 1999,  
en: [tecnovet.uchile.cl](http://tecnovet.uchile.cl)



# La Magnitud de Richter

- Depende de **la energía liberada en el foco**, por lo que cada sismo tiene una sola magnitud.
- **Magnitud cero**, si la amplitud instrumental en un sismógrafo patrón ubicado a 100 kms del foco, es  $10^0$  micras, es decir de una micra. Magnitud 3 si es de  $10^3$  micras o sea de 1 milímetro; magnitud -2 si esa amplitud es de  $10^{-2}$  micras.
- **Entre una y otra magnitud**, la energía varía 31.5 veces; entre  $m = +5$  y  $m = +7$  se incrementa  $(31.5)^2$  o sea unas 1000 veces, por ser una variación para dos grados de magnitud.

Un sismo superficial de Magnitud 6 pero superficial, puede hacer mas daños que uno profundo M7, a pesar de tener el segundo más energía.



Mientras la Cordillera Central es de edad Paleozoica, la occidental es Mesozoica y la Oriental Terciaria. Capas plegadas de rocas formadas a partir de sedimentos vertidos a los fondos oceánicos, en Cajamarca, Colombia. Fotos personales.

# Estudio Del Riesgo

-**Riesgo:** Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un sismo fuerte, dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

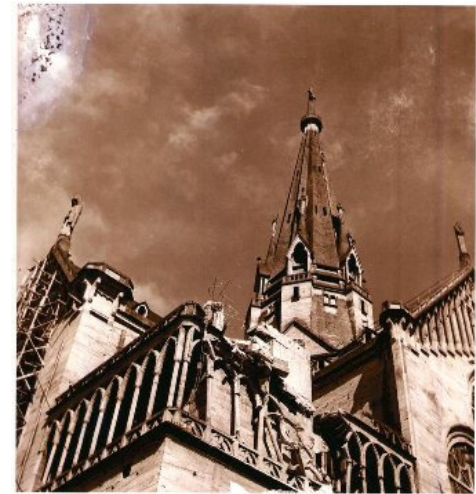
-**Amenaza:** Sismo perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Siendo **la vulnerabilidad** el factor de riesgo que tiene en cuenta la fragilidad de las personas y de los bienes expuestos.

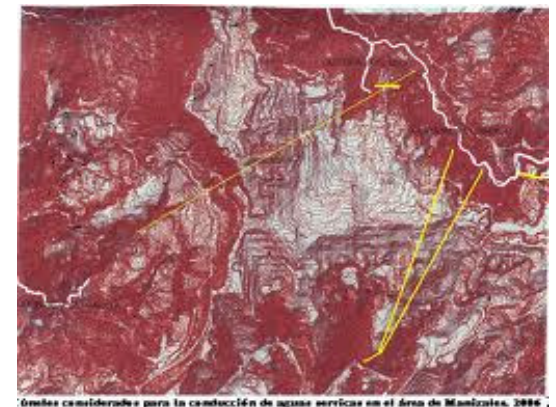
La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica.



*Imágenes de una torre menor de la Catedral, colapsada en el sismo de 1962. Centro de Historia de Manizales*

# Principales peligros en un terremoto

- **Primer grupo.** Temblor del suelo, asentamientos diferenciales de la estructura, hundimientos del suelo, deslizamientos y avalanchas. Ejemplo, el Sismo de Páez de 1994.
- **Segundo grupo.** Desplazamiento del suelo a lo largo de una falla. Ejemplo, California 1906.
- **Tercer grupo.** Maremotos (Tsunamis) y seiches (oscilaciones en lagos y embalses), inundaciones por daños en embalses y ruptura de diques y conducciones hidráulicas. Ejemplo, el tsunami de Sendai, Japón.
- **Cuarto grupo.** Incendios, colapso de estructuras y acabados. Ejemplo, San Francisco 1906.



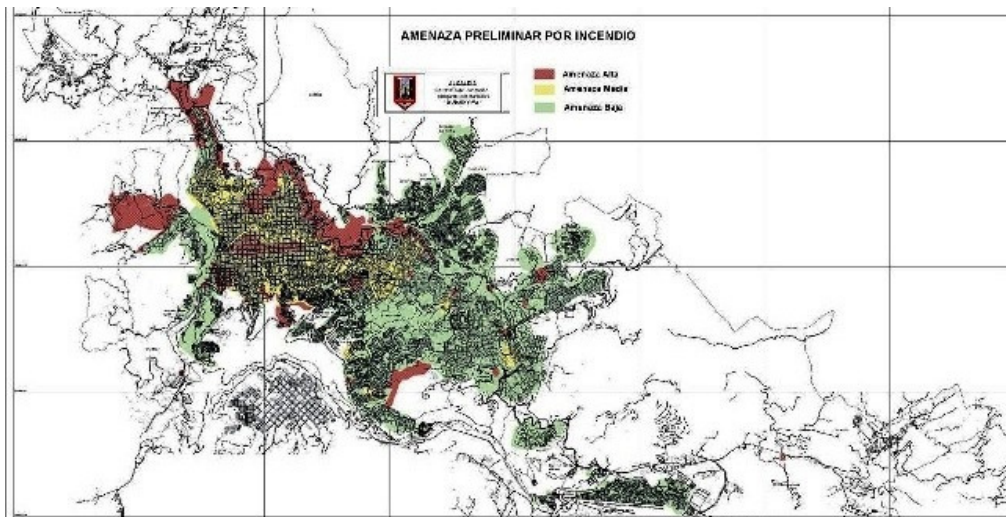
*En el riesgo por deslizamientos podemos incidir sobre la amenaza, pero en el riesgo sísmico sólo queda la alternativa de intervenir la vulnerabilidad: con diseños sismo-resistentes, por ejemplo, que prioricen las edificaciones públicas del centro histórico y las que se han construido en suelos profundos y blandos.*



# Evacuación por sismo

Para desarrollar simulacros se recomiendan tres (3) actividades:

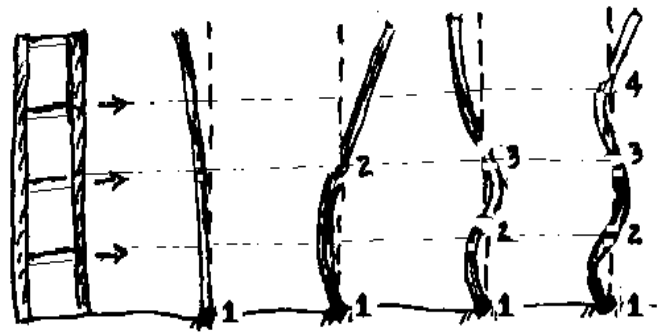
- **1- La planeación: motivación** (Convocar informar, discutir, notificar y **solicitar apoyo**), **coordinación** (Comité ejecutivo y brigadas con tareas simples y cronograma), **revisión** (mapa zonificado con amenazas, refugios rutas, etc.) **e implementación** (señalizar y adecuar el escenario y dotarlo de elementos).
- **2- La ejecución: simulacros** (cantidad y fecha, notificar a las autoridades), **desalojo** (sistema de alarma, protocolos y normas) **y respuesta** (Atender las emergencias, inventario de daños, zonas de refugio y de atención pos – desastre).
- **3- La evaluación: análisis** (Organizar, evaluar, corregir e identificar nuevas necesidades ), **redacción** (elaborar informe escrito, actualizar) **y difusión** (Discutir internamente, remitir copia del informe, contrastar el Programa).



**Mapa de amenaza por incendio:** en rojo, alta, en amarillo media y en verde baja. Preocupa que en 2 centros hospitalarios vitales, San Rafael y Santa Sofía, el municipio haya permitido instalar sendas estaciones de gasolina o gas vehicular, en estos últimos años.



# Fenómeno de resonancia I

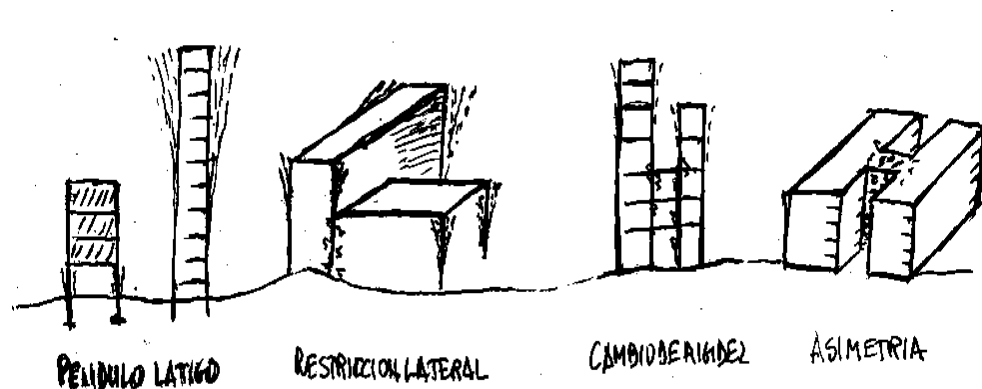


4 MODOS DE VIBRACIÓN (4 PISOS)

ROCA NORMAL DURA	0.1 Seg	≡ CASA 1 PISO
SUELO SEMI-CONSOL.	0.5 Seg	≡ EDIF. 5 PISOS
DEP MAL CONSOLID.	1.0 Seg	≡ EDIF. 10 PISOS
IDEM Y NAE. SUPERFI.	1.5 Seg	≡ EDIF. 15 PISOS

- Las estructuras esbeltas, por flexibles son poco viables en suelos blandos. Los edificios deben construirse en suelos muy duros o en roca. Los suelos blandos amplifican los sismos. Mientras la roca no lo hace.
- Lo anterior se relaciona con el fenómeno de resonancia, que invita a evitar construcciones con un período fundamental similar al del suelo de cimentación.
- Para suelos blandos se recomienda la construcción de estructuras rígidas, como lo son las viviendas de mampostería reforzada de uno o dos pisos. Si en los suelos rocosos resultan convenientes las edificaciones altas, en los blandos las construcciones bajas.
- El bahareque es una arquitectura vernácula de carácter sismo resistente, que amerita fomentarse, dado su bajo costo.
- Las viejas construcciones de bahareque pueden y requieren mantenimiento, asunto factible a muy bajo costo. Las termitas y hongos, las vulneran.

# Fenómeno de resonancia II



$$R = 1 - [1 - 1/P]^n$$

P	n			
	25	100	500	1000
25	0,64	0,98	1,00	1,00
100	0,22	0,63	0,95	1,00
500	0,05	0,18	0,63	0,87

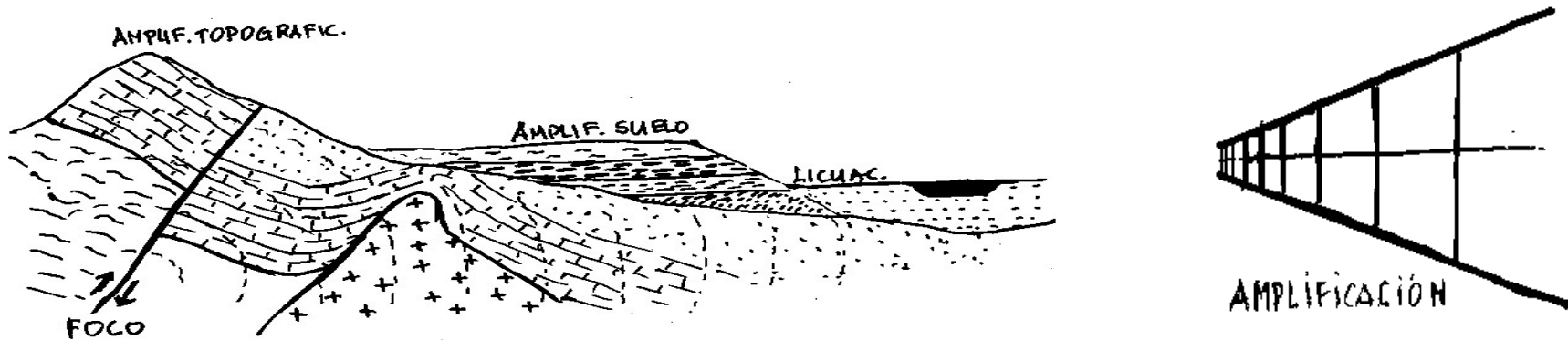
La ingeniería sismo-resistente busca, entre otras cosas, que no se presente resonancia; es decir, que la frecuencia natural de la estructura quede desfasada de las frecuencias naturales de los diferentes suelos.

Casas y construcciones bajas suelen tener las mismas frecuencias naturales de las rocas, y las edificaciones esbeltas las mismas frecuencias de los suelos blandos.

Cuando empujamos en un columpio, usamos una cadencia para maximizar la transferencia de energía: así mediante una fuerza pequeña pero de periodo adecuado, se puede conseguir una amplitud de oscilación considerable.

En la fórmula: **R** = Riesgo de falla, **P** = Período de retorno de las amenazas y **n** = vida útil de una obra. **P** y **n**, en años. La conclusión es que las obras se diseñan del lado de la falla, donde  $R > 50\%$ .

# Amplificación Sísmica

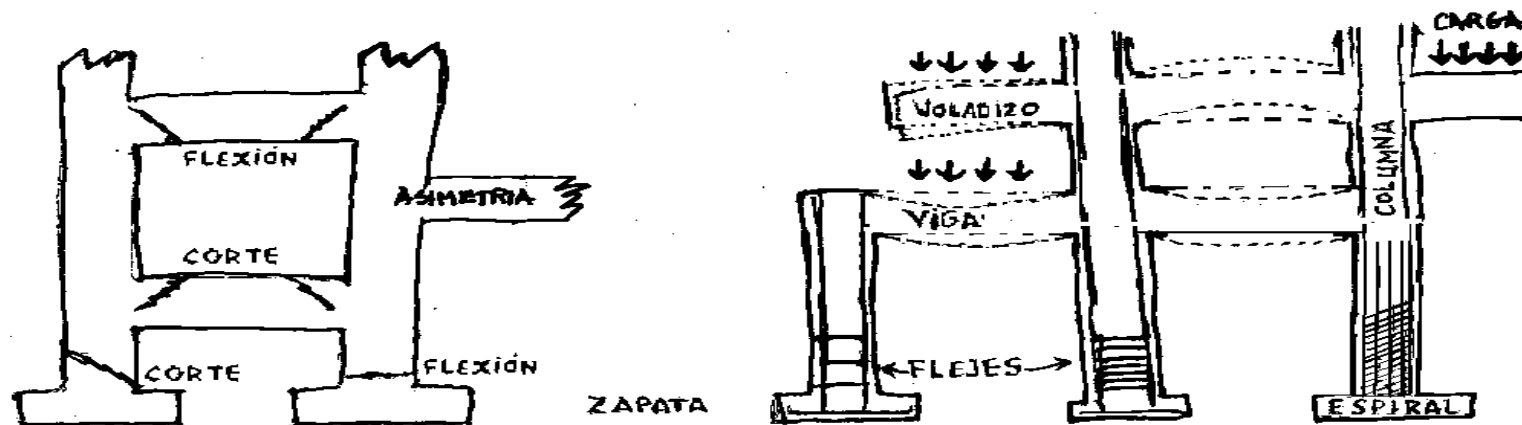


Pero el tipo de suelo y la topografía, modifican la amplitud de las sacudidas. Un frente de ondas **en la roca** suele tener altas frecuencias y alta energía. Cuando las ondas pasan de las rocas a los suelos blandos, se amplifican: baja la frecuencia y aumenta la amplitud de las sacudidas, pues la energía trata de conservarse.

En **depósitos mal consolidados**, de más de 10 m de espesor como los rellenos las vegas de los ríos, en depósitos de cenizas volcánicas y valles de antiguos lagos, la intensidad del terremoto (E. Mercalli) puede incrementarse en un grado, e incluso en medio grado más, si el nivel freático es superficial.

**Sobre las colinas** relativamente pronunciadas, por efectos de esbeltez de la montaña, la fuerza sísmica puede incrementarse hasta en un 50%.

# El código de sismorresistencia



Colombia tiene un Código colombiano de construcciones sismo - resistentes, elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y aprobado por decreto 1400 de 1984.

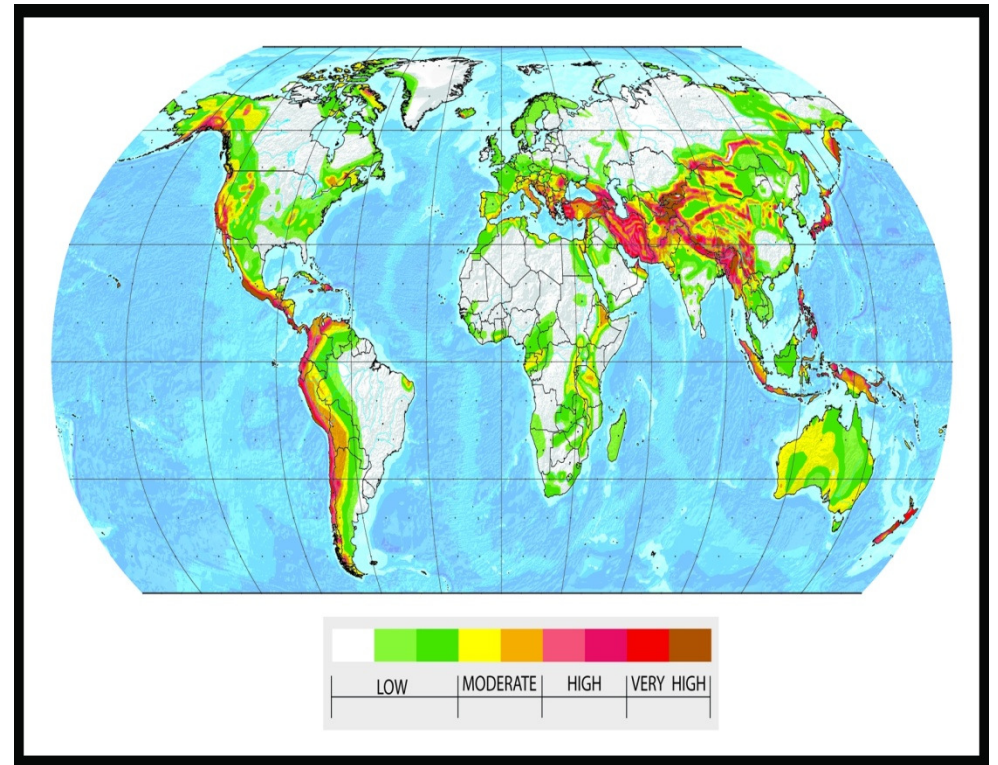
El país tiene una Red Sísmica Nacional administrada por el Ingeominas y Redes Regionales en el Valle (OSSO) y en el Eje Cafetero-Tolima. También un Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, creado en 1990.

La figura izquierda ilustra fallas por flexión y por corte en una columna y en una viga de una estructura. La de la derecha, los diferentes tipos de flejes para columnas y las deformaciones de vigas por los efectos de las cargas propias y vecinas.



# Riesgo Sismico En El Mundo

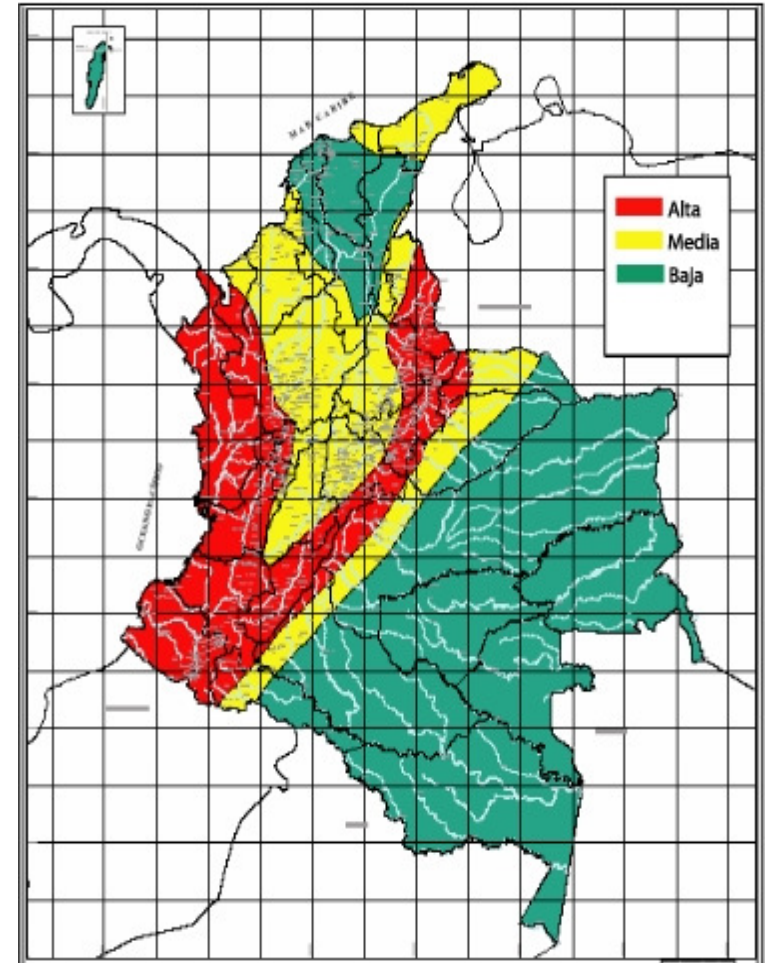
- Existen sobre la Tierra regiones prácticamente asísmicas, como las zonas grises de la figura: son los cratones o núcleos estables de los continentes, como el Escudo Guyanés, el Escudo Brasileiro y el Escudo Canadiense, para el caso de América.
- Contrariamente, existen regiones sísmicas como las zonas rojas y amarillas: se trata de regiones como el Cinturón Circumpacífico y la línea Alpes-Caucaso-Himalaya.
- Esto explica las diferencias básicas en la amenaza sísmica entre las regiones naturales de Colombia.
- Algunos escenarios volcánicos coinciden con las zonas sísmicas del planeta.



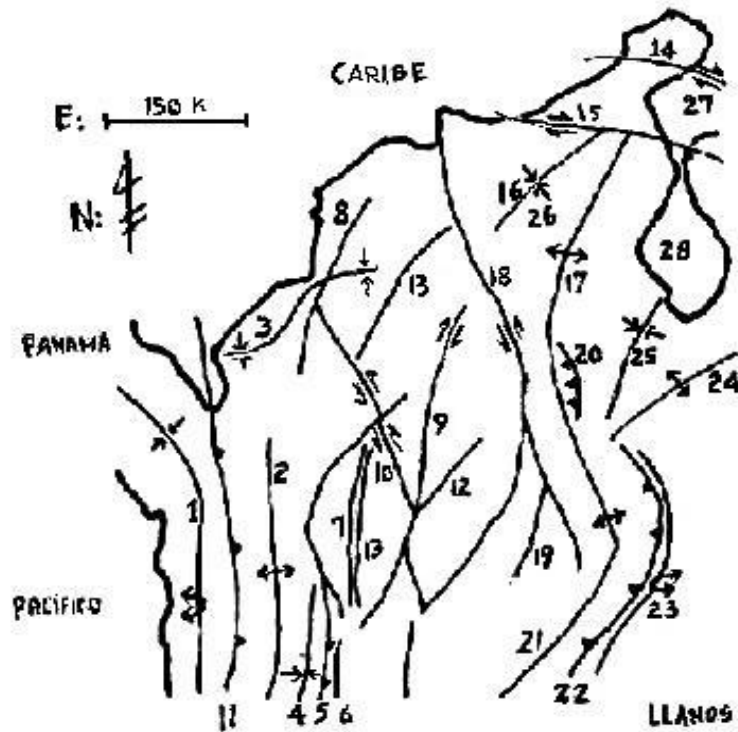
•Fuente de la figura: [www.acm.org](http://www.acm.org)

# Riesgo Sísmico En Colombia

- En Colombia los sismos son frecuentes en la región del pacífico y andina, eventuales en la Caribe y escasos en la Orinoquía y la amazonia. Casi toda la población del país habita zonas del alto y moderado riesgo sísmico. Figura de [www.seisan.ingeminas.gov.co](http://www.seisan.ingeminas.gov.co)
- En Colombia los sismos intraplaca son someros e intensos en la región del Pacífico y profundos y menos leves sobre la región andina.
- Hay singularidades en Riosucio (Chocó) y en la región de Bucaramanga, como también fallas de gran actividad en la joven cordillera Oriental y en otras regiones del país, según lo visto atrás.
- En la Región del Pacífico que es zona de alto riesgo, la amenaza es más intensa hacia el sur.



# Fallas en Colombia



La F. Atrato ( entre 1 y 2) afecta a Valle del Cauca, Chocó y Antioquia.

La F. Romeral (5 y 7) atraviesa Nariño, Cauca, Tolima, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena.

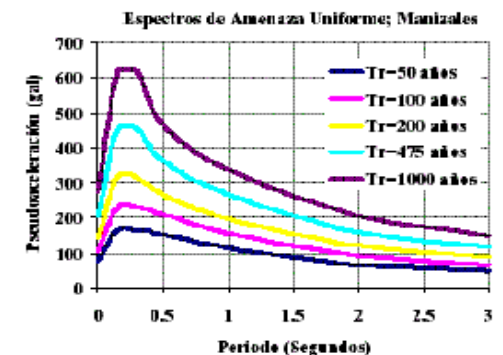
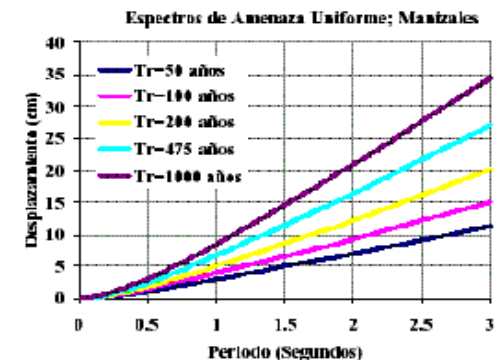
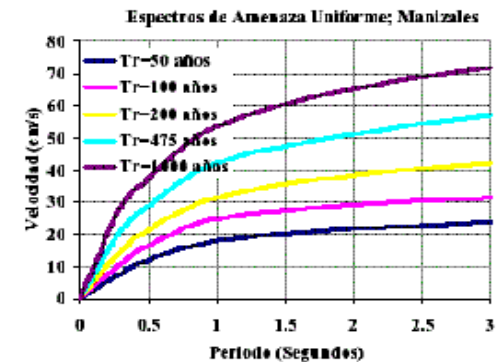
La F. del Cauca (2) recorre Nariño y Cauca.

La F. Palestina (9) cruza Tolima, Caldas, Antioquia y Bolívar.

- La F. Santa Marta-Bucaramanga (18) afecta a los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Cesar y Magdalena.
- La F. Guaicaramo (23) cruza Meta, Cundinamarca, Boyacá y Arauca.
- También se han registrado sismos en Puerto Carreño, Putumayo y San Andrés.

# Amenaza sísmica en el Eje Cafetero

- El Eje Cafetero está en una de las zonas de alto riesgo sísmico.
- Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995, ponen en evidencia una fuente sísmica generadora de sismos profundos de magnitud cercana a 7 grados, que se han relacionado con la zona de subducción.
- Pero las fallas del sistema Cauca-Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena son otra fuente sísmica que merece consideración en la región. Como ejemplo, los sismos de Popayán 1983 y Quindío 1999, capaces de producir eventos superficiales de magnitud 6, pero de mayor intensidad.
- En la Figura, **Espectros para Manizales**, de Velocidad, Desplazamiento y Aceleración, para sismos probables con períodos de retorno de 50, 100, 200, 475 y 1000 años. Fuente figura: CIMOC 2002.

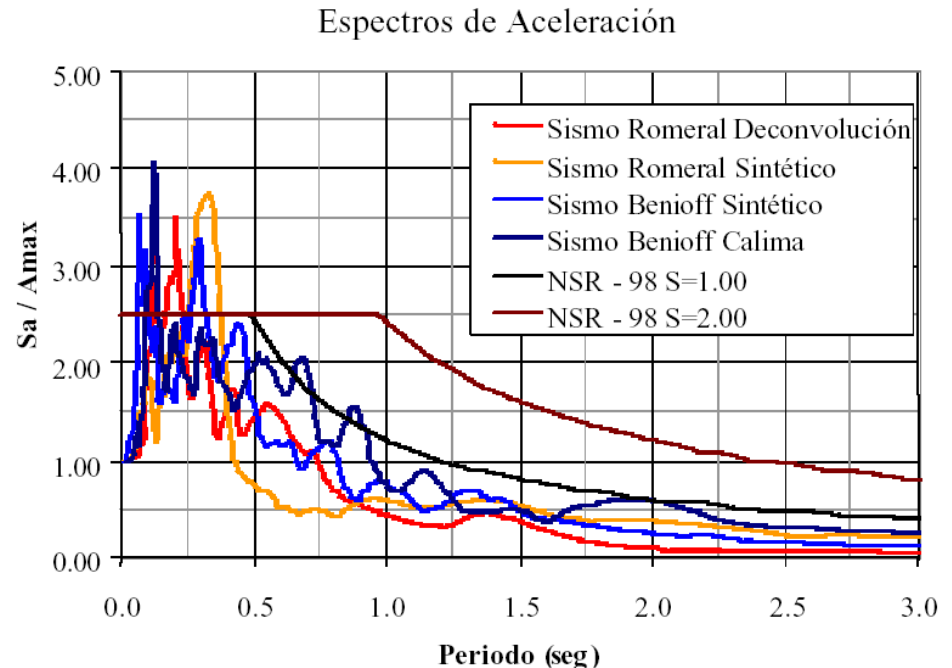




# Espectros para la amenaza sísmica

El CIMOC 2002, en el estudio **Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales**, estimó la fuerza máxima y la duración de la fase intensa de la excitación en el basamento de la ciudad, así:

- **Fuente Romeral**, para eventos superficiales una distancia de 20 km y una magnitud de 6,2: la aceleración máxima 0,18 g y duración de la fase intensa 15 seg.
- **Fuentes regionales**, más lejanas y de eventos profundos con sismos de magnitud 7,0: aceleración máxima 0,15g y duración de la fase intensa 45 seg. Fuente figura: CIMOC 2002.

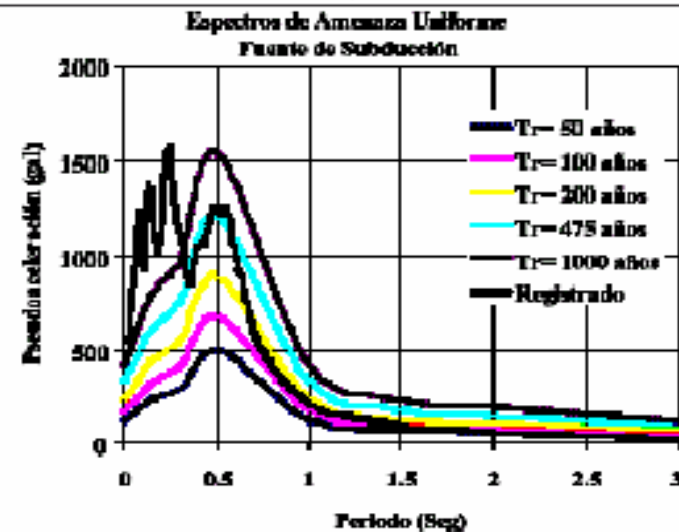
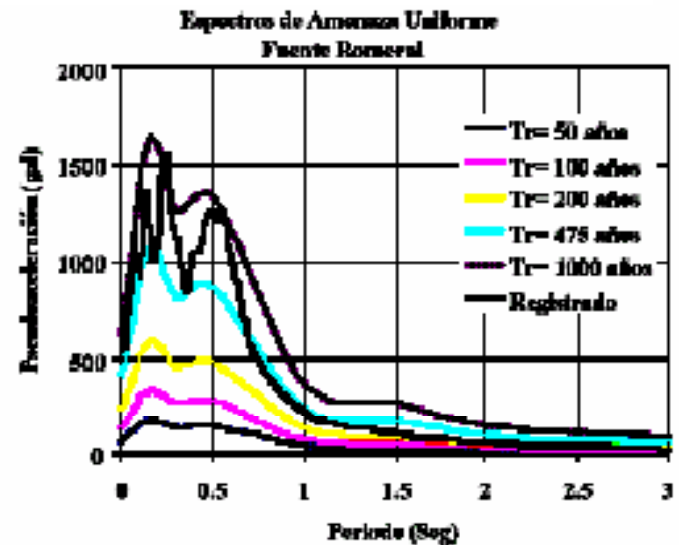


Los objetivos de la microzonificación sísmica fueron:

- Evaluar los efectos locales del suelo de cada sitio
- Analizar los registros de aceleración sísmica disponibles en la ciudad.
- Identificar los problemas asociados con los efectos sísmicos.
- Obtener un mapa general de microzonificación de la ciudad.
- Generar un insumo para la normativa de diseño y construcción.

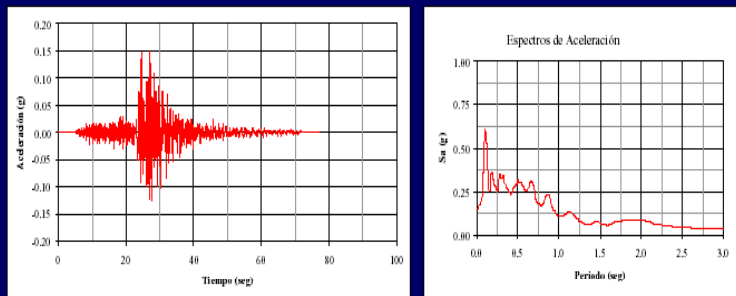
# Qué amenaza atender?

- **Sismología.** Terremotos históricos locales e intensidades, cartografía de epicentros. Relación intensidad - recurrencia de magnitud. Correlación entre focos sísmicos y fuentes sísmicas. Estimación de futuras intensidades cerca del lugar y con la probabilidad de recurrencia. Selección de registros de movimientos fuertes de terremotos pasados que sean representativos y más probables.
- En las figuras, el espectro del sismo registrado en 1999, y los espectros de aceleración de las dos fuentes para varios períodos de recurrencia. Fuente Figuras: CIMOC 2002.



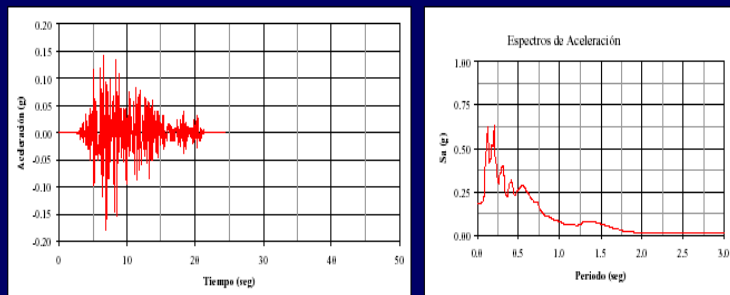
# Fuentes sísmicas para Manizales

## Benioff Calima



Componente EW sismo Calima ( 8 de Febrero de 1995) registrado en la estación de Anserma. Escalado a una aceleración máxima de 0.15g

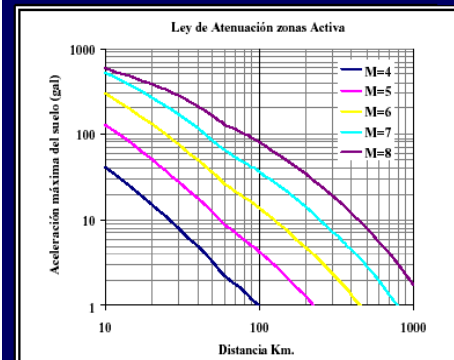
## Romeral por Deconvolución



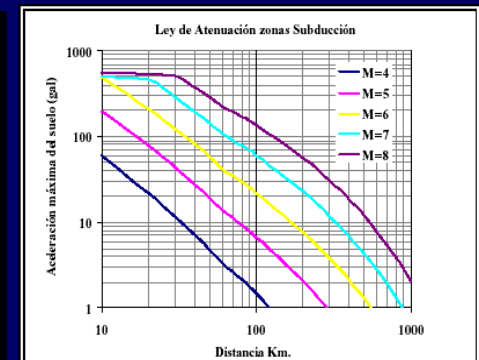
Acelerograma obtenido por deconvolución Escalado a 0.18 g

## Leyes de Atenuación

### Atenuación de fuentes continentales Activas



### Atenuación de fuentes de la zona de Subducción



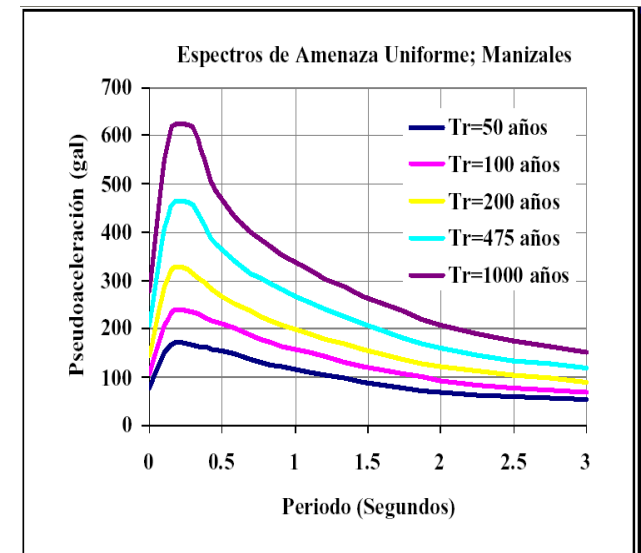
Para Manizales se han considerado dos fuentes sísmicas: zona de subducción y SF Romeral, y se recomienda atender eventos con un período de recurrencia de 475 años.

Ese sismo que aparece en azul claro, obliga a considerar espectros de diseño y normas constructivas con mayores niveles de exigencia, respecto a los actuales.

Derecha: sismogramas y espectros de frecuencias; y Arriba: leyes de atenuación. Fuente figura: CIMOC 2002.

# ¿Y cada cuánto y dónde?

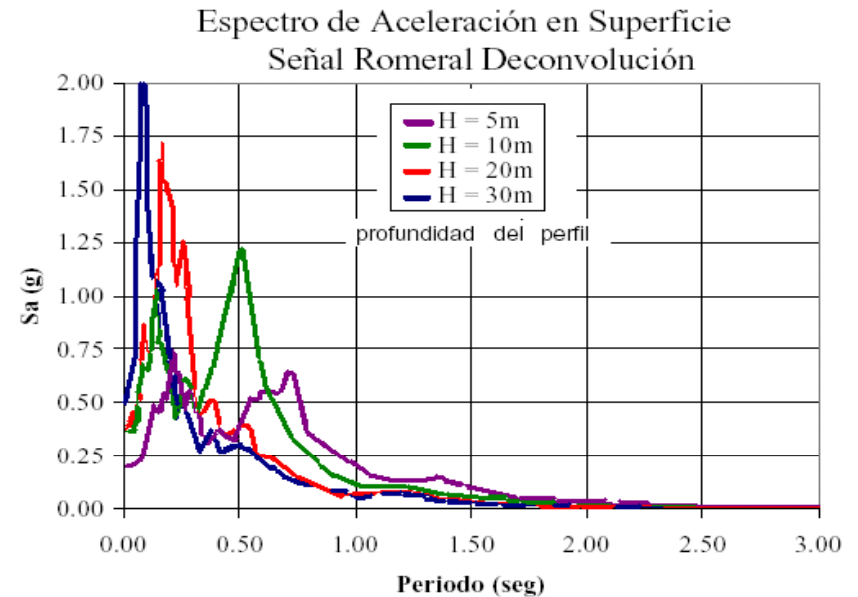
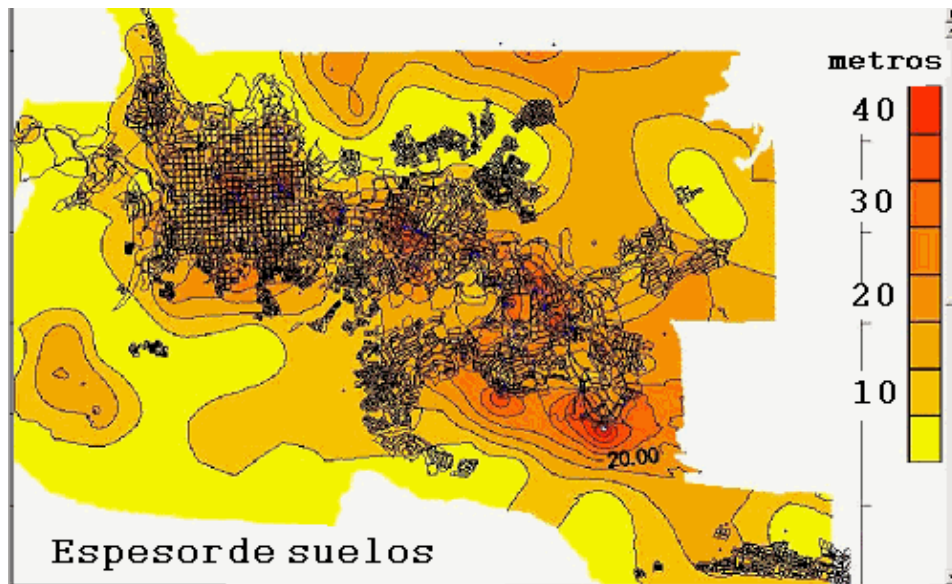
- En un año se dan 154 sismos  $m=6$  y 17  $m=7$ ; cada tres años y medio hay uno  $m=8.6$ ; y cada 90 años solo uno  $m=9$ .
- Tumaco 1906, Japón 1923 y Lisboa 1755 son los máximos terremotos registrados, todos con una magnitud  $m=8.9$  y un número de víctimas estimadas de 700, 143 mil y 30 mil a 60 mil respectivamente.
- Según la teoría de la brecha se pueden hacer pronósticos buscando sombras sísmicas.
- Para más allá del 2010 se espera en Caldas otro sismo de magnitud 7, como los de 1962, 1979 y 1995.
- Estos sismos asociados a la zona de subducción, tienen períodos entre 15 y 20 años en esta región.
- Figura: espectros de amenaza uniforme para varios períodos de recurrencia, en Manizales, según CIMOC 2002. Fuente figura: CIMOC 2002.



Sismos como el del Quindío y Popayán, asociados al sistema de Fallas de Romeral, donde la probabilidad de cientos de víctimas fatales es significativa, deben ser la preocupación del planificador.



# Amenaza sísmica en el Eje Cafetero

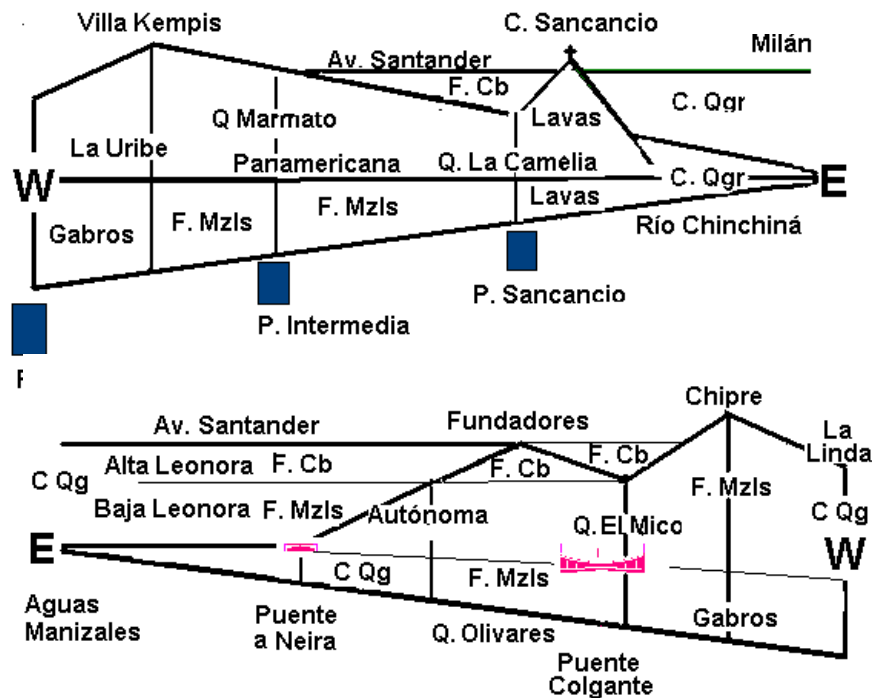


- En el terremoto del Quindío (99), la aceleración registrada en Armenia varió desde el 58% hasta el 9% de la gravedad, dependiendo de la clase de suelo: en suelos blandos y saturados fue alta y en depósitos de rocas o suelos consolidados, baja.
- En la Figura, Espesores de suelos en Manizales y espectros de aceleración esperada en superficie, según los espesores. CIMOC 2000. Fuente figuras: CIMOC 2002.
- En los suelos de mayor espesor (color rojo y azul en la imagen Izq., se prevé mayor nivel de aceleración sísmica en superficie. Por la topografía igualmente, se puede incrementar hasta un 50% la amplificación, en los altos más escarpados del accidentado relieve de la ciudad.

# Un territorio tectónicamente activo

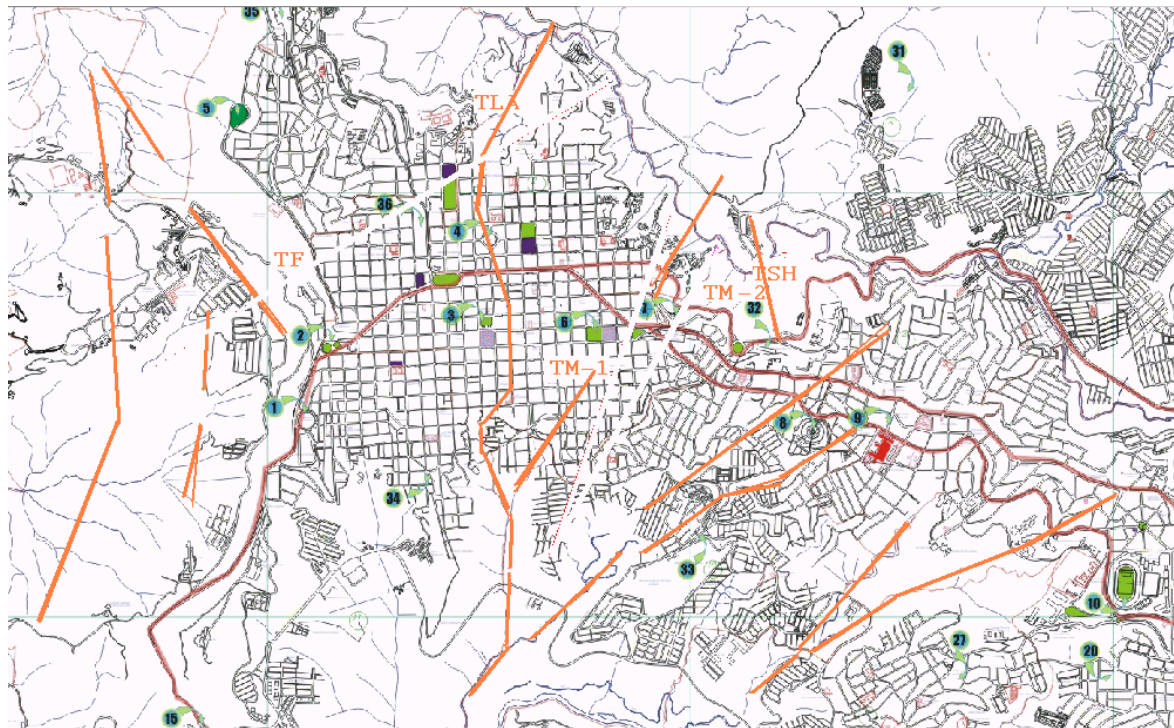
Un levantamiento geológicamente reciente, que explica el escarpe de El Tablazo-El Arenillo-La Francia- La Linda. Villa Kempis y Chipre tienen la altura del domo Cerro San Cancio, extruido hace unos 2 millones de años por la fuerza tectónica que explica el escarpe tectónico de la ciudad.

Suelos variados, donde los llenos hidráulicos y los depósitos de ceniza de mayor espesor, por ser blandos son el desafío, y el suelo rocoso inferior (Formación Manizales y Quebradagrande, la ventaja. Arriba, se muestran suelos formados a partir de cenizas volcánicas y la formación Casabianca.



# RIESGO SÍSMICO EN UN LUGAR I

- **Estudios geológicos para evaluar el RS.** Tectónica regional, cartografía de fallas capaces un área de 100 km de radio. Tipo de fallas. Pruebas en pro y en contra de su actividad. Evidencias en el terreno de asentamientos, inundaciones y deslizamientos conexos. En Manizales existe evidencia de actividad neotectónica. En naranja, lineamientos y fallas de Manizales. INGESAM Ltda, 2006.

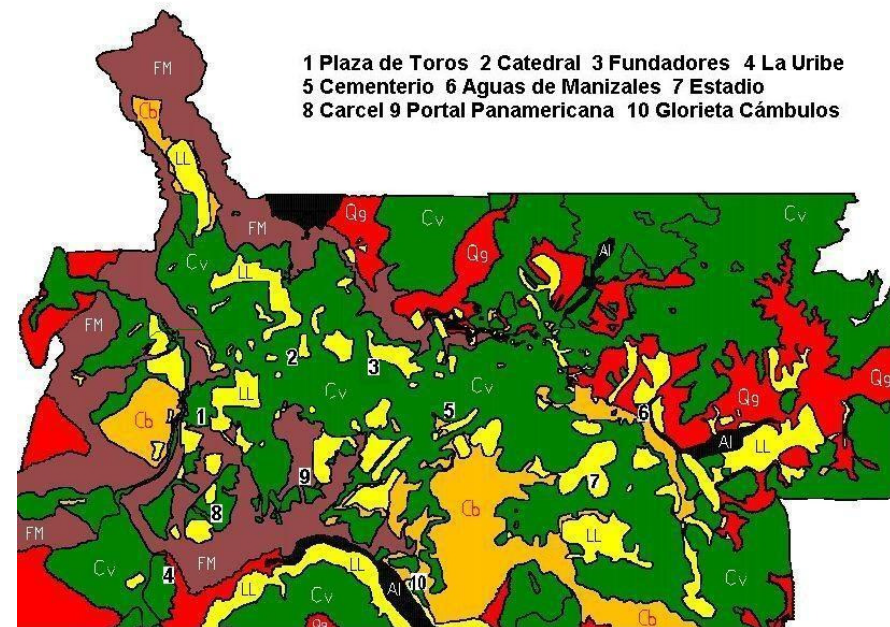
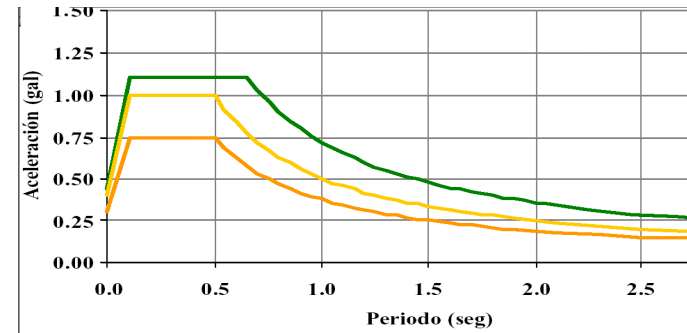


La principal falla de Manizales, pasa por las quebradas Marmato y El Mico: es la falla Manizales-Aranzazu. Solo en algunas fallas de la imagen y no en todas, se ha detectado actividad cuaternaria.



# RIESGO SÍSMICO EN UN LUGAR II

- **Ingeniería de suelos.** Informes sobre cimentación y estudios de estabilidad. Tratamiento de la inestabilidad por hundimiento o falla de taludes, parámetros de diseño para movimientos fuertes.
- Arriba, espectros de diseño para las diferentes zonas de la ciudad de Manizales.
- Abajo, en amarillo se muestran los rellenos y en verde las cenizas volcánicas de Manizales. El basamento rocoso, en rojo. Fuente Figura: CIMOC 2002.





# Lecciones no aprendidas

A causa del sismo del Quindío (1999), en Armenia se estimó necesario demoler unas **320 edificaciones**, y quedó literalmente borrada la vía de 14 km, entre Río Verde y Pijao, por falla de los taludes de corte. Se perdieron 1185 vidas y las pérdidas sumaron unos U\$ 2000 millones.

Entre las recomendaciones de la comunidad científica que se hizo presente en la fase pos-sísmica, previa a la reconstrucción del Eje Cafetero, para el caso del Quindío **se recomendó la exclusión de una franja** del suelo asociada a una falla geológica activa que cruza el centro de Armenia, considerando que no era apta para la construcción de edificaciones. Años más adelante, **la norma fue excluida** del POT por las autoridades de la ciudad.

De esta forma, el ente planificador **separa costos y beneficios** asociados a la explotación de los recursos: mientras los beneficios de la renta de la tierra se le aseguran al propietario del suelo, los costos ambientales se le trasladan a la sociedad en su conjunto.

También el riesgo para el Quindío asociado a la amenaza volcánica del **Volcán el Machín, se excluyó** del Plan de Ordenamiento Territorial para no afectar la actividad económica asociada al turismo.

# Escombros a la espera

Alarmante el panorama que surge de las lecciones que han dejado los sismos de Popayán 1983 y del Quindío 1999, ambos de  $m=6$  pero superficiales.

En el caso de Manizales, un factor adicional a tener en cuenta es el del gas domiciliario: tras el sismo, los incendios suelen ser la segunda catástrofe.

Varios expertos plantean un preocupante desafío ambiental de las megaciudades en zonas de amenaza sísmica alta, en los países en desarrollo donde la acelerada expansión explica miles de edificios mal contruidos y malas prácticas constructivas, que hace de los espacios habitados "escombros en espera" frente a un gran terremoto de segura ocurrencia.

Conocer la amenaza como atender la vulnerabilidad, es la tarea a emprender en Manizales.



Imágenes:

Arriba, Popayán 1983 en [laopinion.com.co](http://laopinion.com.co).

Abajo, Armenia, 1999 en [ciudadmilagro.wordpress](http://ciudadmilagro.wordpress.com).

# Epílogo: por una sostenibilidad con la vida

- Aunque se reconocen los esfuerzos hechos desde el “Padem” por mejorar la seguridad de la ciudad y asegurar colectivamente los bienes, definitivamente Manizales no está preparada para un evento similar al de Popayán (1983) o Quindío (1999), por dos razones: de un lado, por el modelado de nuestras frágiles laderas, los suelos blandos y saturados, y los altos topográficos como factores naturales, y del otro, por las prácticas constructivas que mezclan bahareque y cemento, el deterioro de las viejas construcciones de madera y el número de edificaciones altas construidas que demandan reforzamiento sismo-resistente, como las normas de 1984.
- En la ciudad urge intensificar acciones estratégicas como la constitución de un Consejo Asesor y un Comité permanente del Código, orientando un Programa de gestión integral del riesgo donde se contemple la intervención de obras públicas vulnerables y la seguridad de las líneas vitales, dentro de un programa de gestión integral para la mitigación de la vulnerabilidad sísmica, que incluya una componente para la investigación de la amenaza, acciones para elevar la capacidad de respuesta de las instituciones de emergencia, y organización y capacitación de las comunidades en caso de una emergencia.

# Fuentes I

- Acuaterra Ingenieros Consultores SA. Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Manizales 2004.
- Aguas de Manizales. Base topográfica digitalizada y Lineamientos estructurales en el área de Manizales, e Imágenes digitales de la Ciudad. 2006
- Aerofotografías del área de Manizales. Línea de vuelo C-2275 fotos N° 66 y 67.
- BOOTH-FITCH. La inestable Tierra. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- CASQUET-MORALES, Et al. La Tierra planeta vivo. Colección Salvat. España, 1985.
- CIMOC -Alcaldía de Manizales, Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales, 2002.  
[http://www.manizales.unal.edu.co/gestion\\_riesgos/descargas/microzon/informe\\_final.pdf](http://www.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/descargas/microzon/informe_final.pdf)
- DON-LEET. Earthquake. Editorial Dell Publishing. U.S.A. 1964.
- Duque Escobar, Gonzalo. Aspectos geofísicos de los andes en Colombia, en: <http://www.galeon.com/geomecanica/alturas.htm>
- Duque Escobar, Gonzalo (2011) *Calentamiento global en Colombia*, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/>
- Duque Escobar, Gonzalo (2003) *Curso para el módulo de metodología de la investigación: geotecnia y medioambiente*. Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1704/>
- Duque Escobar, Gonzalo. Escombros a la espera” en zonas sísmicas densamente pobladas, en:  
<http://godues.wordpress.com/2010/03/05/escombros-a-la-espera-en-zonas-sismicas-densamente-pobladas/>
- Duque Escobar, Gonzalo Estilos Estructurales De Los Terrenos De Colombia 2007. <http://godues.blogspot.com/2007/12/estilos-estructurales-de-los-terrenos.html>
- Duque Escobar, Gonzalo y Duque Escobar Eugenio. Geomecánica de las laderas en Manizales, en  
<http://www.galeon.com/godues/godues.htm>
- Duque Escobar, Gonzalo. Geotecnia y Medio Ambiente, en: [http://www.geocities.com/gonzaloduquee/geotecnia\\_ma\\_21.htm](http://www.geocities.com/gonzaloduquee/geotecnia_ma_21.htm)
- Duque Escobar, Gonzalo (2008) *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*. Documento de trabajo.  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/1699/>
- Duque Escobar, Gonzalo. 2010. Haití sin resiliencia para el desastre.  
<http://smpmanizales.blogspot.com/2010/01/haiti-sin-resiliencia-para-el-desatre.html>
- Duque Escobar, Gonzalo. Las Lecciones Del Volcán Nevado Del Ruiz A Los 20 Años Del Desastre De Armero. En:  
[http://www.geocities.com/gonzaloduquee\\_00/armero.htm](http://www.geocities.com/gonzaloduquee_00/armero.htm)
- Duque Escobar, Gonzalo. Manizales no esta preparada para un terremoto. 1999. [www.galeon.com/gonzaloduquee/terremoto.pdf](http://www.galeon.com/gonzaloduquee/terremoto.pdf)
- Duque Escobar, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros. U.N. de Col. Manizales, 1998. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

# Fuentes II

- Duque Escobar, Gonzalo y Escobar P Carlos E. Mecánica de los Suelos. U.N. de Col. Manizales, 2002. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/>
- Duque Escobar, Gonzalo. Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. CISMID – JICA. Lima 1995. En: <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/amenaza.pdf>
- Duque Escobar, Gonzalo. Sismo, bahareque y laderas, 1999, en: <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/bahareque.pdf>
- Duque Escobar, Gonzalo (2010) Sismos y volcanes en Colombia. 2010. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1685/>
- Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2010) *Túnel Manizales*. In: XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, SCG - U.N. de Colombia, , 21-24 de Sep 2010, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2046/>
- Hans Jurgen Meyer y Andrés Velásquez. Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.
- ESTEVA, L., RASCON, O y GUTIERREZ, A. Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America. IV Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica .1969.
- GRIBBIN, John. La Tierra en movimiento. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- José Luis Naranjo. Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. Universidad de Caldas. Manizales 2005.
- Manuel García, Lisandro Beltrán y Álvaro González. Curso de estabilidad de taludes. Posgrado en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales 1993.
- Michel Hermelín y Andrés Velásquez. Prediagnóstico de aspectos geológicos. Inédito. Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales. Medellín1985.
- Omar Darío Cardona. Los Desastres No Son Naturales, en: <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- OPS- Disaster Management Center. University of Wisconsin. Organización de los servicios de salud para situaciones de desastre. Washington 1975
- OPS. Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. PAHO , 1997.
- PNUD- Universidad EAFIT. Programa de prevención sísmica para Medellín: estudio de la amenaza, zonificación, análisis y vulnerabilidad sísmica para Medellín, Medellín, 1994.
- SARRIA, Alberto. Ingeniería Sísmica. Ed. Uniandes. Bogotá, 1990.
- Red Sismológica Regional del Eje Cafetero, Viejo Caldas y Tolima, ISSN 0123-9074, vol. 6, Número 1, año 2001.
- TOUSSAINT, Jean Francois. La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994.
- Universidad Javeriana- OPS- ACODAL- Ministerio de salud de Colombia. Seminario Internacional de Manejo Sanitario en Situaciones de Desastre. Melgar .1991.





# GRACIAS

La anterior presentación es una adaptación del documento "Riesgo sísmico: los terremotos" 2007, publicado en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1680/> para ser utilizado con propósitos académico en la divulgación científica.

**Gonzalo Duque Escobar:** Profesor de la Universidad Nacional de Colombia desde 1976, Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geofísica aplicada, Mecánica de suelos y Economía avanzada. Ex-Presidente de la Red de Astronomía de Colombia 2004-2006, Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM y del Museo Interactivo SAMOGA, y Miembro de la SMP de Manizales y del Centro de Historia de Manizales.